|  |
| --- |
|  |
| **ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ**  **(рабочая версия)**  **на разработку технического решения для оптимизационной модели распределения сбытовых заказов по литейным агрегатам** |
| **РАЗРАБОТАНО:** |
| Дирекция по контролю и координации бизнеса |
| «\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2013 г. |
| **Москва – 2013** |

**оглавление**

[1. общие положения 3](#_Toc370840291)

[1.1. описание Производства 3](#_Toc370840292)

[1.2. назначение документа 3](#_Toc370840293)

[1.3. Цель разработки 3](#_Toc370840294)

[1.4. Термины и определения 4](#_Toc370840295)

[2. Необходимый функционал оптимизационной модели 5](#_Toc370840296)

[3. Описание модели 6](#_Toc370840297)

[3.1. Технологическая схема литья 6](#_Toc370840298)

[3.2. Алгоритм работы модели 11](#_Toc370840299)

[3.3. СЦЕНАРИЙ ЗАПУСКА МОДЕЛИ 12](#_Toc370840300)

[3.4. Последовательность работы модели 13](#_Toc370840301)

[4. Компоненты оптимизационной модели 15](#_Toc370840302)

[4.1. переменные 15](#_Toc370840303)

[4.2. Ограничения 17](#_Toc370840304)

[4.3. Целевая функция 27](#_Toc370840305)

[5. НСИ 30](#_Toc370840306)

[6. Исходные данные 37](#_Toc370840307)

[Приложение 1. Общее обозначение для всех данных НСИ 40](#_Toc370840308)

[Приложение 2. математический аппарат 41](#_Toc370840309)

[Приложение 4. Расчёт времени производства по схемам литейных агрегатов 49](#_Toc370840310)

[Приложение 5. Расчёт количества одновременно-отливаемых слитков на агрегате за одну ходку. 51](#_Toc370840311)

# общие положения

# описание Производства

Решение по оптимизации охватывает один этап алюминиевого производства – литье. Это является последним переделом при производстве готовой продукции. Алюминиевые заводы РУСАЛ выпускают алюминиевые сплавы четырёх видов: слитки плоские, слитки цилиндрические, литейные сплавы (чушка мелкая и Т-образная), катанка. Литейное производство осуществляется литейным агрегатом, который представляет собой совокупность оборудования, производящего, как правило, один вид продукции. Основной частью агрегата является миксер – ёмкость объёмом от 15 до 100 тонн, в которой происходит приготовление и перемешивание расплава алюминия с дополнительными химическими элементами (лигатура). Далее этот расплав выливается в определённую форму в зависимости от вида производимой продукции. Сплав, проходит через фильтры и дегазаторы и попадает на литейную машину – оборудование, в котором происходит затвердевание (кристаллизация) и формирование готового слитка. Литейные машины используются при производстве плоских, цилиндрических слитков и Т-образной чушки. При производстве мелкой чушки вместо литейной машины используется конвейер, состоящий из металлических форм (изложниц) для отливки чушки, которые находятся на движущейся ленте. Для производства катанки используются прокатные станы.

Так как в миксерах производят расплавы, имеющие разный химический состав, то при переходе с одного на другой сплав проводится либо добавление в расплав дополнительных элементов (перешихтовка), либо очистка миксера от примесей, которые остаются от предыдущего сплава, расплавом с выходом некондиционного металла (промывка) (см. Термины и Определения).

# назначение документа

Настоящий документ содержит описание требований на разработку технического решения для оптимизационной модели по распределению сбытовых заказов по литейным агрегатам.

В данном техническом задании нет описания алгоритма варьирования значения переменных (объёмов заказов и очереди их исполнения) и метода ограничения количества и значения исходных переменных (presolve).

Выбор конкретного алгоритма будет зависеть от возможностей программного обеспечения, предлагаемого для решения данной оптимизационной модели.

# Цель разработки

Целью разработки оптимизационной модели является повышение эффективности процесса планирования производства и сбыта ГП посредством создания оптимального графика литья в разрезе каждого литейного агрегата всех алюминиевых заводов компании.

Модель используется для ежемесячного, ежеквартального и годового планирования производства и сбыта продукции с добавленной стоимостью (ПДС) – деформируемых сплавов (плоские слитки, цилиндрические слитки), литейных сплавов и катанки. Производство первичного алюминия, фольги и прочей продукции РУСАЛ не учитывается.

Цель разработки состоит в оптимизации стоимости литейного передела (максимизация маржи), то есть рассматривается только передел из алюминия-сырца в готовую продукцию (ПДС). Таким образом, в задаче оптимизации рассматриваются литейные агрегаты, которые представляют собой в некоторых случаях миксеры и литейные машины (при литье слитков плоских и цилиндрических, чушки Т-образной), в некоторых случаях миксеры и конвейеры (при литье чушки мелкой), в некоторых – миксеры и прокатные станы (в случае катанки).

Оптимизация заключается в максимизации значения целевой функции (которая оценивает эффективность производства сплавов по сравнению с первичным алюминием марки А7) при соблюдении ограничений, в первую очередь, по времени работы литейного оборудования. Кроме того, модель учитывает время и стоимость промывок и переналадок при переходе с одного продукта на другой, остатки ГП на складе, наличие и химический состав алюминия-сырца для производства ГП, стоимость транспортных издержек (железная дорога), время ремонтов (недоступности литейных агрегатов) и др.

Пилотный проект должен рассматриваться на 5 заводах Алюминиевого Дивизиона Восток (АДВ) (КрАЗ, САЗ, ИркАЗ, БрАЗ, НкАЗ). В дальнейшем, оптимизационная модель должна учитывать все 12 алюминиевых заводов Компании. Нормативно-справочная информация (НСИ) по первым 5-ти заводам АДВ в данный момент готова, на подготовку НСИ для остальных заводов потребуется 3 месяца.

# Термины и определения

1. Сокращения
   1. **ГП** – готовая продукция
   2. **ПДС** – продукция с добавленной стоимостью
   3. **СГП** – склад готовой продукции
   4. **ТС** – техническая спецификация
   5. **ТУ** – технические условия
   6. **ГОСТ** – Государственный стандарт
   7. **ЛА** – литейный агрегат
   8. **ЛО** – литейное отделение
   9. **ERP** – системы управления ресурсами предприятия (в т. ч. SAP, Oracle)
   10. **НСИ** – нормативно-справочная информация
   11. **ПС** – подвижной состав.
2. Термины, используемые в литейном производстве.
   1. **Алюминий-сырец** – основное сырье, используемое для приготовления алюминиевых слитков.
   2. **Лигатура** – химические элементы (например, магний, стронций, железо и т.д.), используемые для приготовления сплава.
   3. **Деформируемый сплав** – сплав, используемый в дальнейшем для получения различной продукции методом деформации заготовки (прокатка, штампование, вытягивание)
   4. **Литейный сплав** – сплав, используемый в дальнейшем для переплава
   5. **Перешихтовка** – изменение (увеличение процентного содержания) химического состава расплава путём добавления легирующих компонентов в миксер, где происходит приготовление.
   6. **Расшихтовка** – изменение (уменьшение процентного содержания) химического состава расплава путём его разбавления алюминием-сырцом.
   7. **Промывка** – расшихтовка сплава, которая производится со сливом некондиционного металла. Промывка проводится, как правило, в случае, если объёма миксера не достаточно для того, чтобы уменьшить процентное содержание примесей до нужных значений.
   8. **Миксер** – часть литейного агрегата, ёмкость, в которой «приготавливается» сплав.
   9. **Литейная машина** – часть литейного агрегата, набор оборудования, в котором происходит отливка и кристаллизация слитков.
   10. **Оснастка** – часть литейной машины, которая определяет сечение и форму отливаемых слитков.

# Необходимый функционал оптимизационной модели

Для решения оптимизационной модели необходимо программное обеспечение, обеспечивающее следующий функционал:

1. Оперативное планирование распределения заказов по заводам и агрегатам на срок 1 месяц / квартал /год.
2. Размерность: около 700 заказов в месяц (i), около 70 агрегатов (k), от 10 до 100 частей (m) каждого заказа.
3. Алгоритм варьирования значения переменных (2 набора переменных), позволяющий решать задачу нелинейного программирования для максимизации целевой функции, а также достижения других оптимизационных критериев при заданных ограничениях.
4. По итогам оптимизации расчёт графика литья для всех литейных агрегатов (формирование сводного документа). Необходима функциональная форма графика, в которой отслеживается история изменений, версионность, удобство просмотра и печать в нужном производству формате.
5. Необходим интерфейс для ввода фактических параметров производства и функционал, позволяющий производить сравнительный анализ план-факт. Требования к формату отчета и параметры сравнения будут разработаны Заказчиком в ходе проекта.
6. Взаимодействие с системами управления предприятия (SAP R/3, SAP BI, ИТС Oracle) – возможность извлекать входные данные для модели, хранящиеся в соответствующих информационных системах, а также загружать результат оптимизации в них. Одним из функционалов является: расчет свободных мощностей по всем ЛА (в тоннах) и выгрузка такого мини-отчета ежедневно в ERP.
7. При запуске расчёта оптимизационной модели должен вестись лог возникающих ошибок. Необходима фиксация «неправильных» или отсутствующих значений в нормативно-справочной информации. В промышленной эксплуатации оптимизационной модели такая проблема может возникнуть при изменении входных данных по технологическим ограничениям или обновлении ежемесячных данных НСИ. Поэтому необходим функционал просмотра лога в «читабельном» формате для быстрой фиксации и устранения проблемы.
8. Интерфейсы пользователя и администратора должны соответствовать корпоративным требованиям и позволять максимально организовать систему с помощью настраиваемых параметров (в противовес оформлению вариантов работы системы только через программный код).
9. Система должна соответствовать корпоративным требованиям к информационной безопасности.

# Описание модели

# Технологическая схема литья

Технологическая схема литья представлена на следующем рисунке



Общая схема литейного агрегата представлена на следующем рисунке:



Схема каждого литейного агрегата определяется количеством оборудования, которое входит в его состав в соответствии с таблицей LA\_STRUCTURE.

Всего существует восемь схем литейных агрегатов, включающих в себя разные варианты расположения миксеров, литейных машин. Подробное описание схем показано ниже:

1. 1 копильник, 1 раздатка, 1 фильтр тонкой очистки, 1 литейная машина (4 ЛА 3 ЛО КРАЗ АДВ)



1. 1 копильник, 1 раздатка, 1 литейная машина (количество 4 литейных агрегата на АДВ)



1. 1 копильник, 2 литейных машины (количество 7 ЛА на АДВ)



1. 1 копильник, 1 литейная машина (количество 3 ЛА на АДВ)



1. 2 копильника, 1 литейная машина (количество 10 ЛА на АДВ)



1. 2 копильника, 1 фильтр тонкой очистки, 1 литейная машина (количество 4 ЛА на АДВ)



1. 2 копильника, 1 литейная машина, 1 линия гомогенизации и резки (10 ЛА 2 ЛО НКАЗ АДВ)



1. 4 копильника, 2 литейная машина (2 литейных агрегата 3 и 4 ЛА 1 ЛО САЗ), 2 линии гомогенизации и резки (количество 1 литейный комплекс на АДВ)



1. 2 копильника, 3 литейных машины (М2/17 1 ЛО САЗ на АДВ)



1. 2 копильника, 1 раздатка, 2 литейных машины (количество 2 ЛА на АДВ)



# Алгоритм работы модели

Примерный алгоритм работы модели можно представить в виде следующей диаграммы:



# СЦЕНАРИЙ ЗАПУСКА МОДЕЛИ

Приведенный ниже режим запуска модели является примерным, может быть скорректирован в процессе разработки или тестирования модели.

Для целей месячного планирования модель запускается ежедневно: в первый раз 10-го числа предпланируемого месяца и вплоть до последнего дня планируемого месяца. При этом запусков модели в течение одного дня может быть более одного – например, в случае, если службы, согласующие отчет, обнаружат ошибку или решат изменить какие-то входные данные или параметры модели, а также для целей сравнения различных сценариев.

Для целей квартального и годового планирования модель запускается несколько раз, нужное количество запусков определяется по мере необходимости, исходя из ограничений по регламентным срокам (в соответствии с внутренними регламентами Компании).

При этом для месячного планирования режим запуска может отличаться от режима запуска модели в целях квартального и годового планирования: в части ограничения на перемещение заказов между заводами, в части учета детальных параметров заказов (как указано ниже в ТЗ) или по упрощенной схеме.

Кроме того, в целях повышения эффективности процесса принятия решений необходимо предусмотреть следующие варианты запуска модели:

По срокам:

1. Без учета ограничений по срокам производства каждого заказа;
2. В соответствии с указанными в заказах сроками;
3. В соответствии со сроками заказов, которым присвоены разные приоритеты.

По объемам заказов:

1. Объемы заказов варьируются в рамках, заявленных в заказе величин +/- % толеранс (допуск), также указываемый в заказе;
2. Объемы заказов варьируются в пределах от 0 до объема заказа +% толеранс;
3. Объемы отдельных заказов варьируются в расширенных пределах – например, от 50% до 120% от указанной величины.

По привязке к заводам:

1. Запуск без ограничений по привязке к заводам (в рамках требований НСИ);
2. Запуск с ограничениями – заказы производятся только на тех заводах, где под них уже разработаны технические спецификации (ТС) – применяется для более краткосрочного планирования.

Кроме того, для осуществления планирования в течение планируемого периода необходимо предусмотреть возможность фиксировать время, место и др. параметры производства отдельных заказов (и/или уже произведённых по факту). Например, возможность отметить ряд заказов и запустить планирование, варьируя только отмеченные заказы, или наоборот, зафиксировать уже произведенные заказы.

# Последовательность работы модели

Последовательность шагов просчета в оптимизационной модели представлена в следующей таблице:

| **Этап** | **Шаг** | **Источник данных** | **Способ расчета** |
| --- | --- | --- | --- |
| Начало | Определение набора продуктов | Таблица [PRODUCT\_T](#PRODUCT_T) и [набор заказов](#OrderList) | По таблице [PRODUCT\_T](#PRODUCT_T) и набору заказов определяется набор продуктов |
| Формирование списка переменных | Определение набора переменных для варьирования | Набор продуктов и таблица [LA\_T](#LA_T) | См. [пункт 4.1](#_переменные) |
| Формирование списка переменных | Сокращение количества переменных до актуальных (Presolve) | [Переменные](#_переменные), таблица [PRODUCT\_T](#PRODUCT_T) и [PRODUCTIVITY\_T](#PRODUCTIVITY_T), набор продуктов | Расчёт ведётся алгоритмом оптимизации |
| Формирование списка переменных | Формирование первоначальных значений переменных | [Набор переменных](#_переменные) | Случайные значения для всех переменных |
| Проверка ограничений | Проверка наличия на СГП продукта, проверка возможности объединения кусков заказа для одновременного литья. | Таблицы [SGP\_T](#SGP_T), [LA\_T](#LA_T), набор продуктов | См. п. [4.2.1](#_Ограничения) |
| Проверка ограничений | Учёт наличия сырца определённой химии на заводе | Таблица COB\_T, [PRODUCT\_T](#PRODUCT_T) | См. п. [4.2.5](#сырец_наличие) |
| Проверка ограничений | Проверка на величину объёма части заказа | Набор продуктов, таблица [LA\_T](#LA_T), таблица MonthData | [Ограничения (1)-(4)](#_Ограничения) |
| Проверка ограничений | Определение потребления фильтра | Таблица [LA\_T](#LA_T) | См. п. [4.2.5.12](#filter) |
| Проверка ограничений | Определение текущего ресурса фильтра | Таблица [MonthData](#MonthData) | См. п. [4.2.5.12](#filter) |
| Проверка ограничений | Проверка достаточности ресурса фильтра на исполнение заказа | Таблица [MonthData](#MonthData), Таблица [FILTERCONS\_T](#FILTERCONS_T) | См. п. [4.2.5.12](#filter) |
| Проверка ограничений | Замена фильтра | - | См. п. [4.2.5.12](#filter) |
| Проверка ограничений | Определение возможности перехода с предыдущей марки на последующую | Набор продуктов, таблица [CHMARK\_T](#CHMARK_T) | См. п. [4.2.5.12](#filter) |
| Проверка ограничений | Вычисление расхода фильтра на исполнение заказа | Таблица [PRODUCT\_T](#PRODUCT_T), набор продуктов, Таблица [FILTERCONS\_T](#FILTERCONS_T) | См. п. [4.3.5.12](#filter) |
| Проверка ограничений | Определение времени исполнения части заказа по продукту и агрегату | Таблица [PRODUCTIVITY\_T](#PRODUCTIVITY_T), набор продуктов | См. пп. [4.2.5.6, 4.2.5.7](#производительность) |
| Проверка ограничений | Определение времени старта и окончания производства части заказа на агрегате | Вычисление по формуле | См. пп. [4.2.5](#время_старта_финиша). |
| Проверка ограничений | Определение времени переналадки и переоснастки ЛА при переходе с продукта на продукт и с сечения на сечение соответственно. | Таблица [CHTIME\_T](#CHTIME_T), набор продуктов | См. пп. [4.2.5.4](#промывка), [4.2.5.5](#переоснастка) |
| Проверка ограничений | Проверка доступности оснастки | Таблица ATTACH\_AVAIL\_T | См. пп. [4.2.6, 4.2.7](#оснастка) |
| Проверка ограничений | Определение времени гомогенизации и резки | Таблица CUT\_RATE\_T, HOMOG\_T | См. п. [4.2.13](#Гом_резка) |
| Проверка ограничений | Проверка времени старта и финиша на соответствие ограничениям по времени доступности ЛА. | Таблица [MonthData](#MonthData) | См. п. [4.2.8](#ограничение_планового_периода) |
| Проверка ограничений | Проверка времени старта и финиша на соответствие по ограничениям по диапазонам ремонтов ЛА. | Таблица [MonthData](#MonthData) | см. п. [4.2.9](#ремонты_ЛА) |
| Проверка ограничений | Проверка на химию сырца | Таблица [CHEMISTRY\_T](#CHEMISTRY_T), таблица [PRODUCT\_T](#PRODUCT_T) | См. п. [4.2.12](#химия_сырца) |
| Проверка ограничений | Проверка соответствия всего набора переменных ограничениям | Решение неравенств | Ограничения (1)-(7) |
| Варьирование переменных | Применение алгоритма для варьирования переменных | [Таблица переменных](#_переменные) | Алгоритм |
| Целевая функция | Вычисление транспортных расходов | Таблица [MonthData](#MonthData), [PRODUCT\_T](#PRODUCT_T), таблица [TRAINNORM\_T](#TRAINNORM_T) | См. п [4.3](#_Целевая_функция) |
| Целевая функция | Вычисление целевой функции | Таблица [PRODUCT\_T](#PRODUCT_T), [COST\_T](#COST_T), [CHCOST\_T](#CHCOST_T), [TRANSPORTCOST\_T](#_Исходные_данные) набор продуктов | См. п [4.3](#_Целевая_функция) |
| Целевая функция | Проверка максимизации целевой функции |  | Алгоритм |
| Вывод результата | Создание графика литья для каждого завода по литейным агрегатам | - | - |
| Вывод результата | Выгрузка в ERP графика литья. | - | - |

# Компоненты оптимизационной модели

Оптимизационная модель состоит из нескольких логических частей, таких как: переменные, ограничения и целевая функция.

Оптимизация заключается в нахождении максимума целевой функции, заданной в виде переменных, при соблюдении ими ограничений.

Далее рассматриваются все эти части более подробно.

В данном техническом задании описываются только способы определения переменных, один такт проверки их на соответствие ограничениям и вычисление целевой функции. Метод и алгоритм варьирования переменных не рассматривается.

# переменные

В данной оптимизационной модели переменные (варьируемые) величины могут быть разделены на две смысловые части: объём части заказа, которая исполняется на конкретном агрегате (в дальнейшем обозначается ) и номер в очереди исполнения этого объёма на агрегате . Структуру и взаимосвязь между переменными можно увидеть в следующей таблице:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Номер заказа** | **Объём заказа (V)** | **Часть заказа** | **Агрегаты в рассмотрении. Объёмы производства на литейном агрегате** | | | | | | **Агрегаты в рассмотрении. Очередь исполнения заказа** | | | | | |
|  |  | ***…*** |  | ***…*** |  |  |  | ***…*** |  | ***…*** |  |
| *1* |  |  |  |  | *…* |  | *…* |  |  |  | *…* |  | *…* |  |
| *1* |  |  |  |  | *…* |  | *…* |  |  |  | *…* |  | *…* |  |
| *1* |  | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* |
| *1* |  |  |  |  | *…* |  | *…* |  |  |  | *…* |  | *…* |  |
| *1* |  | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* |
| *1* |  |  |  |  | *…* |  | *…* |  |  |  | *…* |  | *…* |  |
| *…* | *…* | *…* | *…* |  |  |  |  |  | *…* |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  | *…* |  | *…* |  |  |  | *…* |  | *…* |  |
|  |  |  |  |  | *…* |  | *…* |  |  |  | *…* |  | *…* |  |
|  |  | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* |
|  |  |  |  |  | *…* |  | *…* |  |  |  | *…* |  | *…* |  |
|  |  | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* |
|  |  |  |  |  | *…* |  | *…* |  |  |  | *…* |  | *…* |  |
| *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* |
|  |  |  |  |  | *…* |  | *…* |  |  |  | *…* |  | *…* |  |
|  |  |  |  |  | *…* |  | *…* |  |  |  | *…* |  | *…* |  |
|  |  | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* |
|  |  |  |  |  | *…* |  | *…* |  |  |  | *…* |  | *…* |  |
|  |  | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* |
|  |  |  |  |  | *…* |  | *…* |  |  |  | *…* |  | *…* |  |

Здесь:

– количество частей, на которые разбиваются заказы,

– количество заказов,

– количество ЛА,

– объём части i-го заказа, который исполняется на -том агрегате,

– номер исполнения части -го заказа в очереди на -том агрегате,

– последовательность неодинаковых чисел.

Таким образом, варьирование должно происходить независимо по двум наборам переменных, причём переменные имеют вещественные значения, а – натуральные неповторяющиеся и 0.

# Ограничения

В оптимизационной модели присутствуют следующие ограничения для переменных:

1. **Определение производимого объема**. Перед тем как производить часть заказа, необходимо проверить, какие факторы могу сыграть на уменьшении производимого объёма:
   1. **СГП и НЗП**. Перед тем, как производить любую часть заказа , необходимо проверить наличие на складе готовой продукции завода требуемого объёма данного вида продукта, то есть если объёма хватает, то его не производят, а учитывают этот объём как имеющийся на СГП.

Если , то.

Далее необходимо уменьшить запас на СГП завода на величину :

Переменную необходимо обнулить, чтобы она не влияла на распределение заказов при варьировании переменных.

В случае если *,* то в варьировании необходимо учесть только ту часть заказа, которая будет производиться, то есть

Объём находящийся на складе

Запас продукта части заказа i на СГП необходимо обнулить

Проверка наличия и объёма запаса нужного продукта должна производиться по каждой части заказа последовательно, а не одновременно по всем , т.к. параметр общий для нескольких частей заказа и агрегатов с одного завода.

* 1. **Свободные кристаллизаторы.** Необходимо проверить, можно ли объединить несколько заказов, если в них совпадают геометрические размеры (сечение и длина для цилиндров и плоских слитков, вес для чушки) и они имеют одинаковые или идентичные спецификации. Такое объединение необходимо для того, чтобы использовать агрегат c более высокой производительностью в случае, если для исполнения текущего заказа литейная машина будет загружена не полностью (есть свободные кристаллизаторы в данной плавке). То есть необходимо ввести следующее условие: если в прошлой плавке есть «свободные места» в кристаллизаторе, то надо проверить, можно ли текущий заказ производить вместе с предыдущим. Для этого надо проверить, совпадают ли текущий и предыдущий заказы по геометрическим и технологическим параметрам, а также возможно ли совместить их производство в части требований по химии (т.е. пересекающийся между двумя ТС допуск по содержанию каждого химического элемента («коридор») должен быть выше определенного минимума, чтобы можно было с незначительными рисками приготовить расплав, подходящий под требования обеих спецификаций).

Если заказы удовлетворяют этим условиям, необходимо заполнить свободные места в литейной машине слитками из текущего заказа.

*– расчетная длина заготовки,*

*– длина слитка по заказу*

Рассмотрим следующий алгоритм:

1. Варьируем переменные.
2. Сортируем переменные по порядку исполнения
3. В первом заказе при =1 определяем число одновременно отливаемых слитков (используется переменная ) по объему .
4. Определяем число ходок:
5. Определяем число свободных кристаллизаторов:
6. Идем по очереди исполнения и находим заказ, который удовлетворяет условию выше (0). Берем из найденного заказа то количество заготовок, которые можно отлить в данной ходке.
7. Соответственно увеличиваем текущую на объем забранных заготовок, и уменьшаем объем части заказа, у которого забрали заготовки.
8. Далее продолжаем процесс для остальных частей пакета заказов.

– количество заготовок, отливаемых в текущей ходке,

– количество одновременно отливаемых заготовок на агрегате.

1. **Ограничение по кратности весу слитка.** Объём части заказа должен быть кратен весу слитка (Т-образной чушки) для всех видов продукции кроме катанки:

*Это ограничение необходимо для того, чтобы рассчитывать целое число слитков при планировании производства. Ограничение должно выполняться для плоских, цилиндрических и Т-образных слитков. При производстве чушки мелкой и катанке учет и планирование идет по весу, поэтому для них ограничение (1) не должно учитываться.*

1. **Ограничение по весу заказа.** Суммарный объём всех компонентов по всем частям заказа и всем литейным агрегатам должен не превосходить объём производимого заказа () с учётом допусков (). Так как предполагается запуск разных сценариев (п. [3.3](#_СЦЕНАРИЙ_ЗАПУСКА_МОДЕЛИ))
   1. Объемы заказов варьируются в рамках, заявленных в заказе величин +/- % толеранс (допуск), также указываемый в заказе;

– отрицательный допуск по объёму для i-того заказа,

* 1. – положительный допуск по объёму для i-того заказа.Объемы заказов варьируются в пределах от 0 до объема заказа +% толеранс;
  2. Объемы отдельных заказов варьируются в расширенных пределах – например, от 50% до 120% от указанной величины.

1. **Ограничение по объёму части заказа:**
   1. Объём части заказа (за вычетом объёмов СГП и НЗП) должен не превосходить общий объём заказа, но должен быть больше минимального объёма и меньше максимального объёма, который может отливаться для конкретного агрегата за одну ходку (определяется в зависимости от сечения и длины заготовки), или равен 0. При этом варианте планирование происходит по ходкам, т.е. значения переменных или части заказа - это объем одной ходки.

Максимальные и минимальные объёмы и вычисляются по следующим формулам (при производстве слитков плоских и цилиндрических):

где

*-* плотность алюминия ().

– максимальная длина заготовки,

– количество одновременно-отливаемых заготовок в зависимости от параметров слитка и агрегата, на котором он отливается,

– максимальная длина отливаемой заготовки.

где

– минимальная длина заготовки.

* 1. Объём части заказа (за вычетом объемов СГП и НЗП) должен не превосходить общий объём заказа, но должен быть больше минимального объёма ходки для конкретного агрегата (определяется в зависимости от сечения и длины заготовки) или равен 0. При этом варианте планирование происходит по более крупным частям заказа, которые потом расчётно разбиваются на ходки.

*Заказчик совместно с исполнителем в ходе разработки системы определяют, какой из вариантов (4.1 или 4.2) эффективнее использовать.*

1. **Расчет времени производства заказа.** Производство заказов ПДС должно производиться в рамках того периода, который используется при запуске модели (месячный, квартальный, годовой). Таким образом, расписание формируется внутри дат периода планирования. Кроме того производство заказов должно рассчитываться в рамках диапазона дат, установленных заказчиком (планирование производства к определённому сроку, равномерная поставка продукции заказчику и др.).

**Ограничение по времени старта и финиша работ по исполнению части заказа.** Для рассмотрения этого ограничения необходимо произвести следующие выкладки:

* 1. Необходимо учесть, что если , то .
  2. Необходимо упорядочить переменные , чтобы определить порядок исполнения частей заказов на агрегатах

– упорядоченная очередь исполнения заказов на k-том агрегате.

– количество частей заказа , имеющих нулевой объём в текущем распределении.

* 1. **Промывка миксера.** 
     1. Для первой части заказа в упорядоченной очереди время переналадки агрегата
     2. Для всех остальных частей заказа в упорядоченной очереди время переналадки
  2. **Время переоснастки литейной машины**. При производстве заказов различного сечения (ширина, высота для СП и Т-образных, диаметр для СЦ, катанки) или чушки разной массы, необходимо производить переоснастку оборудования. Этот процесс занимает определённое время и является постоянным () для каждого агрегата. На 4ПНГ 1 ЛО САЗ можно отливать как слитки плоские, так и слитки цилиндрические. Время смены оснастки с цилиндров на плоские и наоборот занимает: =12 часов.

Для того чтобы определить, требуется ли проводить переоснастку на определённом агрегате , необходимо, чтобы для заказа и выполнялись следующие условия:

* 1. **Время производства заказа.** Время исполнения части заказа для производства плоских и цилиндрических слитков на агрегате зависит от того на какой схеме литейного агрегата заказ производится и определяется временем приготовления миксеров (копильник и раздатка) (зависит от объёма), временем подготовки литейной машины и временем литья (зависит от длины отливаемых заготовок).

Для расчета времени производства куска заказа необходимо перейти на уровень ходок (одной операции на оборудовании) исполнения частей заказа.

Пусть – множество ходок на агрегате *k*, – количество ходок на агрегате *k* за планируемый период.

Количество ходок литейного агрегата по куску . Оно равно:

Пусть – множество ходок одной части заказа на агрегате .

– каждому однозначно соответствует .

– объем одной ходки части заказа. Расчёт указан в пункте Приложении 5.

1. – время подготовки сплава в миксере (копильнике).

– постоянное время подготовки миксера.

– переменное время подготовки миксера.

1. – время подготовки сплава в миксере (раздатке).

– постоянное время подготовки миксера.

– время перелива.

1. Время подготовки литейной машины: .

Время литья:

– постоянное время литья,

– скорость литья сплава, в зависимости от агрегата, сплава, сечения и т.д. (таблица SPEED\_CASTING\_T)

Так как исполнение одного куска заказа производится в несколько ходок, определим следующие обозначения:

– старт приготовления сплава на копильнике k-того агрегата в -той ходке.

– финиш приготовления сплава на копильнике k-того агрегата в -той ходке.

– старт приготовления сплава на раздатке k-того агрегата в -той ходке.

– старт приготовления сплава на раздатке k-того агрегата в -той ходке в.

– старт подготовки литейной машины k-того агрегата в -той ходке.

– старт подготовки литейной машины k-того агрегата в -той ходке.

– старт литья на k-том агрегате в -той ходке.

– финиш литья на k-том агрегате в -той ходке.

– время приготовления куска заказа на агрегате *k.*

Идентификаторы , – определяют структуру литейного агрегата (см. таблицу LA\_STRUCTURE\_T).

* 1. Время исполнения части заказа для производства катанки и сплавов PFA (чушка мелкая и Т-образная) на агрегате
  2. Время старта первой части заказа в упорядоченной очереди на агрегате k равно времени окончания работ в предыдущем периоде:
  3. При производстве заказов необходимо учитывать, что на агрегатах проходят периодические работы и плановые ремонты (недоступность оборудования), задаваемые для каждого оборудования агрегата (копильника, раздатки, литейной машины) диапазоном недоступности:

– старт s-того периода недоступности копильника,

– финиш s-того периода недоступности копильника,

– старт s-того периода недоступности раздатки,

– финиш s-того периода недоступности раздатки,

– старт s-того периода недоступности литейной машины,

– финиш s-того периода недоступности литейной машины,

, – количество периодов недоступности в периоде планирования.

В общем случае для любого оборудования :

Возможны 2 варианта, когда оборудование недоступно:

1. Периодические технологические операции – имеют гибкий график и начинаются в тот момент, когда освободилось оборудование. Старт недоступности оборудования смещается на конец исполнения ходки на данном оборудовании;
2. Ремонт оборудовани – имеют фиксированный график, Начинаются строго по расписанию. Старт исполнения ходки, которую не успели бы выполнить до ремонта, смещается на окончание ремонта (см. формулу ниже).

*Произведя смещение времени старта ходки на каком либо оборудовании литейного агрегата, необходимо понимать, что после этого требуется заново рассчитать время старта на всех частях агрегата.*

* 1. **Фильтры тонкой очистки. Проверка доступности и ресурса фильтра.**

1. Производство через фильтры тонкой очистки на КРАЗ 3 ЛО 4 и 5 ЛА.

Производство любых сплавов (качество в ТС любое) на 4 и 5 ЛА ведется через фильтры тонкой очистки. Существует необходимость менять фильтры по мере расходования его ресурса. Для данных агрегатов доступны три фильтра (см. таблицу FILTER\_T).

Шаги алгоритма проверки:

* 1. В начале периода проставить на каких агрегатах стоят фильтры, указать текущий ресурс. В таблицу FILTER\_REST\_T добавляются поля: номер фильтра, ЛА, статус.
  2. В начале расчетного периода необходимо также дополнить эту таблицу периодами ремонта с указанием статуса «В ремонте».
  3. Первая ходка на агрегате (например, 4 ЛА). В таблице FILTER\_REST\_T ищется подходящий фильтр по литейному агрегату и по статусу «занят на агрегате». Проверяется время его недоступности (поля «START» и «FINISH»). Если поля пустые или диапазон исполнения ходки находится за пределами недоступности фильтра, то в таблицу FILTER\_REST\_T добавляются значения остаточного ресурса, старта и финиша ходки.
  4. Для следующей ходки необходимо определить, что на время исполнения заказа текущий фильтр доступен. Для каждого агрегата определяется текущий фильтр, который на нем стоит. Вычисляется текущий ресурс. В таблицу FILTER\_REST\_T добавляется запись о недоступности фильтра на время производства текущей ходки, с указанием ресурса и статуса «на агрегате».
  5. Если в какую либо из ходок ресурс фильтра меньше, чем остаточное значение (около 2%), то необходимо сменить фильтр, текущую ходку на нем не выполняют. В таблице FILTER\_REST\_T ищем запись со статусом фильтра «свободен» и наибольшим ресурсом.
  6. Делаем запись в таблицу о недоступности выбранного фильтра на время исполнения ходки (статус «на агрегате»).
  7. Делаем запись для предыдущего фильтра, с указанием статуса «свободен».
  8. Для выбранного нового фильтра необходимо найти время, когда он освободился, прибавить к нему время подготовки и разогрева (данные из таблицы FILTER\_T). Таким образом, эта сумма будет временем готовности фильтра к установке на агрегат. Делаем запись в таблицу FILTER\_REST\_T о готовности фильтра (статус «Свободен», ресурс – 100%.).
  9. Указываем недоступность предыдущего фильтра с момента окончания работы на нем, до момента готовности фильтра.
  10. Так как существует время на замену фильтров на агрегате, то необходимо сместить время старта литья на величину этого времени (FILTER\_T-CHTIME).
  11. Шаги повторяются для всех ходок для каждого из агрегатов (4 и 5 ЛА 3 ЛО КРАЗ).

1. Производство через фильтры тонкой очистки на САЗ 1 ЛО 1, 2 ЛА, БРАЗ ЛА 10.

Через фильтр льются только сплавы имеющие признак FQ в поле «Качество» тех спецификации. Шаги алгоритма проверки доступности фильтров аналогичны описанному выше.

* 1. **Ограничение по переходу между марками через фильтр тонкой очистки.**

Если производство ведётся на 4 или 5 ЛА 3 ЛО КрАЗ, то вычисляется следующее значение:

Функция показывает, возможен ли переход между маркой предыдущего заказа и маркой текущего заказа . Технологический процесс заключается в том, что через фильтр нельзя лить расплав, у которого химия более «грязная», чем у предыдущего, так как промывка фильтра не осуществляется. Таким образом, через один фильтр льются марки с последовательным повышением содержания примесей.

Однако если производство ведётся на 1ПНГ или 2ПНГ САЗ, литьё может идти в любом порядке, но после каждого литья (FQ) необходимо промывать фильтр. Таким образом, время начала исполнения заказа фольгового качества смещается на время промывки фильтра:

В таблицу FILTER\_REST\_T необходимо добавить поля с данными о диапазоне времени недоступности фильтра по причине производства заказа, остаточном ресурсе фильтра .

В случае если ресурса фильтра не хватает на производство текущей части заказа, то есть

где – величина, показывающая минимальный запас остатка ресурса фильтра (обычно 1-2%), то данная раскладка переменных считается некорректной и варьирование необходимо провести заново.

1. **Доступность литейной оснастки.** Перед тем как производить заказ, необходимо проверить, доступна ли требуемая для выполнения заказа оснастка на данном литейном агрегате. Особенность технологического процесса в том, что во многих литейных отделениях оснастки существуют в единственном экземпляре, а применяться могут на нескольких литейных агрегатах. Этот факт является ограничением на одновременное производство разных заказов, имеющих одинаковую форму и сечение, на литейных агрегатах в пределах одного литейного отделения. Таким образом, предлагается создать обновляемую таблицу (таблица ATTACH\_AVAIL\_T), в которую будет записываться время старта и окончания недоступности определённой оснастки при прохождении через каждый заказ. То есть при прохождении такта проверки каждого заказа на каждом агрегате, необходимо проверить, доступна ли оснастка в данный момент времени и будет ли доступна в течение всего времени производства. Если оснастка доступна, то необходимо её «занять» текущим заказом, прописав в таблице ATTACH\_AVAIL\_T данные о времени недоступности (время старта и окончания литья заказа). Далее при рассмотрении следующего производственного заказа, необходимо проверить доступность оснастки по таблице. Если оснастка недоступна, то заказ не производят (добавить вариант смещения старта литья). То есть всё распределение заказов становиться неправильным и необходимо переменные заново варьировать.

В данном случае реализуется некий «жадный» метод, то есть оснастку занимает первый попавшийся заказ.

1. **Ресурс оснастки.** Необходимо учесть ресурс оснастки, то есть факт, что через неё можно лить определённое число ходок, после чего необходимо произвести ремонт. Другими словами, необходимо учитывать периоды планово-предупредительных ремонтов оснастки, время которых определяется в зависимости от объема произведенного на них металла. Ресурс на начало периода планирования для каждой оснастки записывается в таблицу RESOURCE\_T. Далее при выборе определённой оснастки необходимо проверить достаточно ли ресурса для выполнения производства:

Заказ выполняется, а ресурс текущей оснастки уменьшается на 1. Если ресурс оснастки равен нулю, то в таблицу ATTACH\_AVAIL\_T внести данные о недоступности текущей оснастки (указывается время ремонта оснастки) и заказ на данной оснастке не производится. После ремонта ресурс оснастки необходимо обновить

1. Ограничения по времени старта и финиша исполнения частей заказа для всех агрегатов кроме 4 и 5-го агрегатов КрАЗ
2. Ограничения по времени старта и финиша исполнения частей заказа для 4 и 5-го агрегатов КрАЗ
3. **Производство коротких цилиндрических слитков.** При планировании производства цилиндрических слитков, необходимо учитывать, что существует производство коротышей (цилиндрические слитки короткой длины). при литье необходимо оптимизировать длину заготовок (определить количество слитков в заготовке), так чтобы при разрезе на коротыши количество отходов было наименьшим. Также необходимо учесть объединение отливки разных заказов для сокращения времени производства и минимизации отходов.

1. **Ограничение по наличию сырца требуемой химии.** При планировании производства ПДС необходимо учитывать содержание примесей в сырце (является сырьём для производства алюминия) на каждый день планирования производства и контролировать наличие сырца с необходимыми параметрами по химии, указанными в ТС исполняемого заказа.

Сырец поступает в литейное отделение (ЛО) из электролизного цеха (ЭЦ) в виде ковшей с жидким металлом. В ЭЦ производство сырца происходит в электролизных «ваннах», в которых различно содержание примесей. Таким образом, полученный сырец будет иметь разную сортность алюминия и разное содержание примесей в зависимости от электролизёра. При передаче жидкого металла из ЭЦ в ЛО происходит набор ковшей из нескольких электролизеров (обычно набор ковша на 4,5 тонны происходит из 3-4 электролизеров).

Производство сплава конкретной ТС невозможно, если содержание химических примесей в миксере превышает установленный ТС предел с определенным допуском по отдельным элементам. Содержание примесей в миксере определяется как средневзвешенное содержание примесей во всех электролизных ваннах, из которых набирается сырец для данного миксера, а также в остатках прошлого расплава в миксере (в «болоте»).

Для упрощения расчета этого ограничения, возможно сделать допущение, что необходимый для производства сырец из определенной ванны будет доступен в заданный час (хотя входные данные по прогнозному объему производства по электролизерам доступны в разбивке по суткам или сменам), а также что в ковши есть теоретическая возможность собирать металл из электролизеров со сходной химией.

Таким образом, для упрощенного расчета ограничения необходимо проверить, будет ли доступен в определенные сутки в определенную смену для производства всех заказов по каждому ЛО необходимый объем сырца нужной химии в электролизных ваннах в соответствующем ЭЦ.

Рассмотрим «жадную» схему выбора сырца из электролизных ванн. Чтобы определить, с каких ванн забирать сырец для литья необходимо выполнить следующее:

* 1. Используя условие (7) определить сырец каких электролизёров подойдёт для литья одной ходки части заказа .
  2. Составить временную таблицу ORDER\_EL для каждой смены (в сутках три смены) для всех заказов (исполняются внутри данной смены) внутри литейного отделения завода в рассматриваемом периоде

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Заказ | Объем куска заказа | Номера  электролизёров | Суммарный объем сырца этих электролизёров |
|  |  |  |  |

* 1. Необходимо проверить, хватит ли суммарного объема сырца с подходящих электролизеров для удовлетворения потребности в сырце для одной ходки куска заказа . Проверку необходимо сделать для всех заказов. Если для какого либо заказа объема сырца с учетом его расходного коэффициента (таблица CHEMISTRY\_T) не хватает, то считаем, что данное распределение заказов не корректно и варьирование необходимо производить заново.
  2. Если объема сырца нужной химии хватает для каждого куска заказа по всем заказам, то алгоритм продолжает работу.
  3. Таблицу ORDER\_EL необходимо отсортировать по возрастанию по столбцу «Суммарный объем сырца этих электролизёров», для того чтобы определить наиболее требовательные заказы по химии (для них количество ванн будет минимальным) Такая сортировка позволяет распределить качественное сырье по заказам, которые предъявляют к нему высокие требования.
  4. Составить временную таблицу ELECTRO\_T для всех электролизеров в рассматриваемом периоде (смена)

|  |  |
| --- | --- |
| Электролизер | Номера заказов |
|  |  |

* 1. Отсортировать таблицу по возрастанию количества номеров заказов. Таким образом, определяется, со скольки электролизеров сырец подходит для исполнения заказов.
  2. Используя отсортированную таблицу ORDER\_EL необходимо начать «забирать» сырец для исполнения заказа в верхней строчке таблицы. Причём, сырец в первую очередь забирается с тех электролизеров, которые подходят к меньшему числу заказов (см. таблицу ELECTRO\_T). Необходимо проверить, хватает ли объема сырца с электролизеров с учетом расхода сырца на выполнения ходки куска заказа.
  3. Далее необходимо исключить из таблицы ORDER\_EL первую запись. Указать оставшийся объем сырца в электролизерах в случае, если из какой то ванны сырец не забран полностью, а также удалить «пустые» электролизеры.
  4. Из таблицы ELECTRO\_T исключаем записи содержащие упоминание о проверенном куске заказа.
  5. Далее необходимо заново отсортировать таблицу ORDER\_EL и повторить шаги алгоритма начиная с пункта 11.5
  6. Таким образом в каждом цикле (начиная с п. 11.5) необходимо делать проверки достаточности объема сырца. Если объема не хватает для исполнения ходки куска заказа , то данная последовательность заказов считается не корректной и необходимо заново произвести варьирование.
  7. Ограничение по химии сырца считается выполненным, если для всех заказов в рассматриваемом периоде оказалось достаточно сырца.

1. **Расчет времени гомогенизации и резки для цилиндрических слитков.** Необходимо учитывать производительность линий гомогенизации (зависит от диаметра продукции) и резки (зависит от длины товарной продукции и длины отливаемых слитков) при производстве цилиндрических слитков (САЗ, НкАЗ). При этом важно учитывать, что линия Хертвич на САЗ, например, является единой линией по гомогенизации и резке (эти два передела связаны неразрывно). А неразрывной связи с литейными агрегатами у этой линии нет – на нее может попадать продукция с любого из двух ЛА в любом порядке.

# Целевая функция

Целевая функция показывает эффективность производства пакета заказов на литейных агрегатах заводов компании.

Целевая функция оптимизационной модели выглядит следующим образом:

Она учитывает премию заказа, себестоимость производства части заказа на агрегате, стоимость переналадки, смены фильтра, а также транспортные издержки.

Кроме того, в целевую функцию необходимо добавить расчет финансовых издержек (стоимость финансирования или оборотного капитала в зависимости от срока производства заказа).

Транспортные издержки по перевозке заказа i с завода j в пункт назначения зависят от формы продукта в заказе, длиной слитка, а также наличием на заводе доступных видов ПС, и определяются следующей формулой:

Где – тариф на перевозку в крытом вагоне с завода j в пункт назначения, указанный в заказе *i*,

– тариф на перевозку в полувагоне с завода j в пункт назначения, указанный в заказе *i*,

*–* тариф на перевозку в контейнере с завода j в пункт назначения, указанный в заказе *i*,

*–* тариф на перевозку в морском контейнере с завода j в пункт назначения, указанный в заказе i

– грузоподъемность контейнера,

– грузоподъемность морского контейнера,

– грузоподъемность крытого вагона,

– грузоподъемность полувагона.

# Стратегия оптимизации

При решении задачи оптимизации необходимо минимизировать следующие компоненты:

1. Минимизация количества ходок. Включено в ограничение в виде максимального срока производства заказов.
2. Минимизация отливаемой длины в любой ходке при максимальном числе слитков товарной длины. Это учитывается в Приложении 5.
3. Минимизация длины обрези. При учете свободных кристаллизаторов (п. 1.2) необходимо подбирать заказы таким образом, чтобы остатки металла были минимальными. Штрафное ограничение
4. Производство в срок. Необходимо производить заказы максимально близко к сроку отгрузки. Учтено в ЦФ.

# НСИ

1. Таблица заводов PLANT\_T

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Поле** | **Обозначение** | **Смысл** | Тип |
| Plant |  | Идентификатор завода | По маске |

1. Таблица LO\_T литейных отделений

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Поле** | **Обозначение** | **Смысл** | Тип |
| Plant |  | Идентификатор завода | По маске |
| LO | - | Идентификатор литейного отделения | По маске |

1. Таблица литейных агрегатов

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Поле** | **Обозначение** | **Смысл** | Тип |
| LA |  | Идентификатор Литейного Агрегата | Длинное целое |
| Plant | *j* | Идентификатор завода | По маске |
| LO | - | Идентификатор литейного отдела | По маске |
| LA\_Name | - | Название литейного агрегата | По маске |
| Vol\_min |  | Минимальный объём плавки на агрегате | Вещественное |
| Vol\_max |  | Объём миксера | Вещественное |
| Restringing | *pereosn* | Время переоснастки оборудования | Вещественное |

1. Таблица количества одновременно-отливаемых слитков

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Поле** | **Обозначение** | **Смысл** | **Тип** |
| **LA** |  | Идентификатор Литейного Агрегата | Длинное целое |
| **Product** |  | Идентификатор Продукта | По маске |
| **Form** |  | Форма слитка | По маске |
| **Width** |  | Ширина заготовки | Вещественное |
| **Height** |  | Высота заготовки | Вещественное |
| **Diameter** |  | Диаметр заготовки | Вещественное |
| **LengthLow** |  | Нижняя граница длины заготовки | Вещественное |
| **LengthHigh** |  | Верхняя граница длины заготовки | Вещественное |
| **LengthMax** |  | Максимальная длина заготовки | Вещественное |
| **NumBlanks** |  | Количество одновременно отливаемых заготовок | Целое |

1. Таблица продуктивности – .

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Поле** | **Обозначение** | **Смысл** | **Тип** |
| **LA** |  | Идентификатор Литейного Агрегата | Длинное целое |
| **Product** |  | Идентификатор Продукта | По маске |
| **Form** |  | Форма слитка | По маске |
| **Width** |  | Ширина заготовки | Вещественное |
| **Height** |  | Высота заготовки | Вещественное |
| **Diameter** |  | Диаметр заготовки | Вещественное |
| **LengthMin** |  | Минимальная длина заготовки | Вещественное |
| **LengthMax** |  | Максимальная длина заготовки | Вещественное |
| **NumIngots** |  | Количество одновременно отливаемых слитков | Целое |
| **Productivity** |  | Производительность | Вещественное |
| **CastTime** |  | Время одной ходки агрегата | Вещественное |

1. Таблица уникальных продуктов

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Поле** | **Обозначение** | **Смысл** | **Тип** |
| Product |  | Идентификатор Уникального Продукта | Длинное целое |
| Series |  | Идентификатор серии сплава | По маске |
| Mark |  | Идентификатор марки сплава | По маске |
| Form |  | Идентификатор формы сплава | По маске |
| Spec | *spec* | ТС/ТУ/ГОСТ по каждому продукту на каждом заводе | По маске |
| Weight |  | Вес чушки | Вещественное |
| Diameter |  | Диаметр слитка для катанки и цилиндрического слитка | Вещественное |
| Width |  | Ширина плоского слитка | Вещественное |
| Height |  | Высота плоского слитка | Вещественное |
| FeMin, SiMin, MgMin, Pmin, NaMin, ZnMin, GaMin, Vmin, CrMin, MnMin, TiMin | *, , ,, , , , , , ,* | Минимально содержание Fe, Si, Mg, P, Na, Zn, Ga, V, Cr, Mn, Ti | Вещественное |
| FeMax, SiMax, MgMax, Pmax, NaMax, ZnMax, GaMax, Vmax, CrMax, MnMax, TiMax, | *, , , , , , , , , ,* | Максимальное содержание Fe, Si, Mg, P, Na, Zn, Ga, V, Cr, Mn, Ti. | Вещественное |

1. Таблица COST\_T – Себестоимость литейного передела за вычетом стоимости высвобождаемого сырца.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Поле** | **LA** | **Product** | **Cost** |
| **Обозначение** |  |  |  |
| **Смысл** | Идентификатор Литейного Агрегата | Идентификатор Продукта | Себестоимость передела |
| **Тип** | Длинное целое | По маске | Вещественное |

1. Таблица CHCOST\_T – Стоимость перехода (промывка).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Поле** | **Обозначение** | **Смысл** | **Тип** |
| **LA** |  | Идентификатор Литейного Агрегата | По маске |
| **Product\_1** |  | Идентификатор Продукта, с которого происходит переход | По маске |
| **Product\_2** |  | Идентификатор Продукта, на который происходит переход | По маске |
| **ChCost** | *ChCost* | Стоимость промывки между продуктами | По маске |

1. Таблица CHTIME\_T – Время перехода (промывок) между продуктами, которые производятся на агрегате.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Поле** | **LA** | **Product\_1** | **Product\_2** | **ChTime** |
| **Обозначение** |  |  |  |  |
| **Смысл** | Идентификатор Литейного Агрегата | Идентификатор Продукта, с которого переходим | Идентификатор Продукта, на который переходим | Время перехода |
| **Тип** | Длинное целое | По маске | По маске | Вещественное |

1. Таблица FILTERCONS\_T – Расход фильтра.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Поле** | **LA** | **Product** | **Filter\_Cons** |
| **Обозначение** |  |  |  |
| **Смысл** | **Идентификатор Литейного Агрегата** | **Идентификатор продукта** | **Потребление ресурса фильтра** |
| Тип | Длинное целое | По маске | Вещественное (%) |

1. Таблица CHMARK\_T – Последовательность допустимых переходов между марками (только для агрегатов, использующих фильтр).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Поле** | **Mark\_1** | **Mark\_2** | **ChMark** |
| **Обозначение** |  |  |  |
| **Смысл** | Идентификатор марки сплава, с которой переходим | Идентификатор марки сплава, на которую переходим | Допустимость перехода |
| **Тип** | По маске | По маске | Логическое (1,0) |

1. Таблица CHFILTER\_T – время промывки фильтра

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Поле** | **Обозначение** | **Смысл** | **Тип** |
| **LA** | k | Идентификатор литейного агрегата | По маске |
| **Filter** | Filter | Идентификатор фильтра | По маске |
| **Product\_1** | Product1 | Идентификатор продукта, с которого идёт промывка | По маске |
| **Product\_2** | Product2 | Идентификатор продукта, на который идёт переход | По маске |
| **Solid** | Solid | Объём твёрдого металла прогоняемого через фильтр | Числовое |
| **Liquid** | Liquid | Объём жидкого металла, прогоняемого через фильтр | Числовое |
| **ChTime** | ChTime | Время промывки фильтра | Числовое |

1. Таблица CHEMISTRY\_T – содержание примесей по электролизному цеху в зависимости от дня периода.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Поле** | **Обозначение** | **Смысл** | **Тип** |
| **ELU** | ElU | Идентификатор электролизный цех | По маске |
| **El** | EL | Идентификатор электролизёра | По маске |
| **Vol** | Vol | Объем сырца отбираемого у электролизёра | Вещественный |
| **Day** | T | День периода планирования | Дата |
| **Fe, Si, Mg, P, Na, Zn, Ga, V, Cr, Mn, Ti** | - | Содержание Fe, Si, Mg, P, Na, Zn, Ga, V, Cr, Mn, Ti в сырце | Вещественное |

1. Таблица EL\_LO\_T соответствия электролизного цеха и литейного отделения на заводах

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Поле** | **Обозначение** | **Смысл** | **Тип** |
| **ELU** | ElU | Идентификатор электролизный цех | По маске |
| **LO** | LO | Идентификатор литейного отделения | По маске |

1. Таблица TRAINNORM\_T вагонных норм.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Поле** | **Обозначение** | **Смысл** | **Тип** |
| **Product** | *Product* | Идентификатор продукта | По маске |
| **Train** |  | Идентификатор вагона/контейнера | Вещественное |
| **V** | *V* | Грузоподъемность | Вещественное |

1. Таблица COB\_T коэффициентов расхода сырца на продукт

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Поле** | **Обозначение** | **Смысл** | **Тип** |
| **Product** | *Product* | Идентификатор продукта | По маске |
| **Cob** |  | Коэффициент расхода сырца | Вещественное |

1. Таблица MATCH\_T – возможное совмещение продуктов при их одновременном приготовлении и литье.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Поле** | **Обозначение** | **Смысл** | **Тип** |
| **Product1** |  | Идентификатор продукта | По маске |
| **Product2** |  | Идентификатор продукта | По маске |
| **Match** |  | Совмещение продуктов | 1/0 |

1. Таблица SPEC\_T – технические спецификации

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Поле** | **Обозначение** | **Смысл** | **Тип** |
| **Plant** |  | Идентификатор завода | По маске |
| **LO** | LO | Идентификатор литейного отделения | По маске |
| **LA** | *LA* | Идентификатор литейного агрегата | По маске |
| **Serie** |  | Серия сплава | По маске |
| **Mark** |  | Марка продукта | По маске |
| **Form** |  | Форма сплава | По маске |
| **Spec** | Spec | Код ТС или ГОСТ | По маске |
| **Cond** |  | Состояние слитка | По маске |
| **Homogen** |  | Гомогенизация слитков | Логический |
| **Filtration** |  | Фильтрация | По маске |
| **Quality** |  | Качество | По маске |
| **Clippping** |  | Длина обрези заготовки | Вещественное |

1. Таблица ATTACH\_T – список оснасток, используемых для литья

| **Поле** | **Обозначение** | **Смысл** | **Тип** |
| --- | --- | --- | --- |
| **Attachment** |  | Идентификатор оснастки | По маске |
| **Form** |  | Идентификатор формы оснастки | По маске |
| **Dims** |  | Сечение оснастки | Текстовый |
| **Quantity** |  | Количество доступных оснасток | Целый |
| **LO** |  | Литейное отделение, в котором используется оснастка | По маске |
| **Resource** |  | Ресурс оснастки (процент или количество ходок) | Целый |
| **PrepareTime** |  | Время подготовки оснастки к работе | Дата |

1. Таблица ATTACH\_AVAIL\_T – обновляемая таблица времени доступности оснасток для производства.

| **Поле** | **Обозначение** | **Смысл** | **Тип** |
| --- | --- | --- | --- |
| **Attachment** |  | Идентификатор оснастки | По маске |
| **Status** | Status | Статус занятости оснастки (в ремонте, в производстве) | По маске |
| **Start** |  | Время начала работы (заказа) на данной оснастке | Дата |
| **Finish** |  | Время окончания работы (заказа) на данной оснастке | Дата |

1. Таблица FILTER\_T – базовая информация по фильтрам

| **Поле** | **Обозначение** | **Смысл** | **Тип** |
| --- | --- | --- | --- |
| **Filter** |  | Идентификатор фильтра | По маске |
| **LA** | *LA* | Идентификатор литейного агрегата | По маске |
| **PrepareTime** |  | Время подготовки фильтра к работе | Время |

1. Обновляемая таблица FILTER\_REST\_T – ресурс фильтра и время доступности.

| **Поле** | **Обозначение** | **Смысл** | **Тип** |
| --- | --- | --- | --- |
| **Filter** |  | Идентификатор фильтра | По маске |
| **Status** |  | Статус фильтра (доступен, в ремонте, установлен на агрегате, подготавливается к установке) | По маске |
| **LA** | LA | Литейный агрегат, на котором стоит агрегат во время исполнения заказа или подготовки к установке. В случае, если фильтр имеет статус «Доступен» или «В ремонте», то поле пустое. | По маске |
| **Start** |  | Время начала недоступности фильтра (исполнение заказа, ремонт) | Дата |
| **Finish** |  | Время окончания недоступности фильтра (исполнение заказа, ремонт) | Дата |

1. Таблица CHEM\_RANGE\_T – коридор значений содержания примесей в сплаве по химии в разных ТС, которые могут отливаться одновременно.

| **Поле** | **Обозначение** | **Смысл** | **Тип** |
| --- | --- | --- | --- |
| **Element** |  | Идентификатор химического элемента | По маске |
| **Range** |  | Значение коридора элемента | Числовое |

1. Таблица CUT\_RATE\_T – скорость резки цилиндрических слитков.

| **Поле** | **Обозначение** | **Смысл** | **Тип** |
| --- | --- | --- | --- |
| **Diameter** |  | Диаметр цилиндрического слитка | Числовое |
| **Rate** |  | Скорость резки | Числовое |

1. Таблица HOMOG\_T – время обработки цилиндрических слитков в печи гомогенизации.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Поле** | **Обозначение** | **Смысл** | **Тип** |
| **Diameter** |  | Диаметр цилиндрического слитка | Числовое |
| **Homogenization** |  | Время обработки цилиндрических слитков в печи гомогенизации | Числовое |

1. Таблица SPEED\_CASTING\_T – скорости литья алюминиевых сплавов

| **Поле** | **Обозначение** | **Смысл** | **Тип** |
| --- | --- | --- | --- |
| **Plant** |  | Идентификатор завода | По маске |
| **LO** |  | Идентификатор литейного отделения | По маске |
| **LA** |  | Идентификатор литейного агрегата | По маске |
| **Form** |  | Идентификатор формы слитка | По маске |
| **Series** |  | Серия сплава | По маске |
| **Attachment** |  | Тип оснастки | По маске |
| **Cristal** |  | Тип кристаллизатора | По маске |
| **Diameter** |  | Диаметр заготовки | Вещественное |
| **Width** |  | Ширина заготовки | Вещественное |
| **Height** |  | Высота заготовки | Вещественное |
| **Speed** |  | Скорость литья | Вещественное |

1. Таблица CALCULATE\_SCHEME\_T – схема для вычисления времени ходки (производительности литейных агрегатов)

| **Поле** | **Обозначение** | **Смысл** | **Тип** |
| --- | --- | --- | --- |
| **Plant** |  | Идентификатор завода | По маске |
| **LO** |  | Идентификатор литейного отделения | По маске |
| **LA** |  | Идентификатор литейного агрегата | По маске |
| **Form** |  | Идентификатор формы слитка | По маске |
| **Scheme** |  | Идентификатор схемы вычисления | По маске |

1. Таблица LA\_PROPERTY\_T – свойств литейного агрегата.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Поле** | **Обозначение** | **Смысл** | **Тип** |
| **Plant** |  | Идентификатор завода | По маске |
| **LO** |  | Идентификатор литейного отделения | По маске |
| **LA** |  | Идентификатор литейного агрегата | По маске |
| **Form** |  | Идентификатор формы слитка | По маске |
| **SCHEME** |  | Идентификатор схемы вычисления | По маске |
| **T\_Mixer\_Const** |  | Постоянное время подготовки миксера (копильник или/и раздатка) | Вещественное |
| **V\_ladle** |  | Объем ковша | Вещественное |
| **Pouring\_Time** |  | время заливки ковша в миксер | Вещественное |
| **T\_CastMashine** |  | время подготовки литейной машины без литья | Вещественное |
| **T\_Per** |  | Время перелива расплава из копильника в раздатку | Вещественное |

1. Структура литейных агрегатов LA\_STRUCTURE.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Поле** | **Обозначение** | **Смысл** | **Тип** |
| **ZAVOD** |  | Идентификатор завода | По маске |
| **LO** |  | Идентификатор литейного отделения | По маске |
| **LA** |  | Идентификатор литейного агрегата | По маске |
| **K** |  | Копильник | Натуральное |
| **R** |  | Раздатка | Логическое |
| **LM** |  | Литейная машина | Логическое |
| **Gom** |  | Линия гомогенизации | Логическое |
| **Rez** |  | Линия резки | Логическое |

1. Таблица LA\_CHEM\_DECREASE – возможности литейного агрегата (установки СНИФ, фильтры HD и т. д.) по уменьшению содержания химических элементов в сплаве.

| **Поле** | **Обозначение** | **Смысл** | **Тип** |
| --- | --- | --- | --- |
| **LA** | *LA* | Код литейного агрегата | По маске |
| **Fe** |  | Процентное содержание Fe | Вещественное |
| **Si** |  | Процентное содержание Si | Вещественное |
| **Mg** |  | Процентное содержание Mg | Вещественное |
| **P** |  | Процентное содержание P | Вещественное |
| **Na** |  | Процентное содержание Na | Вещественное |
| **Zn** |  | Процентное содержание Zn | Вещественное |
| **Ga** |  | Процентное содержание Ga | Вещественное |
| **V** |  | Процентное содержание V | Вещественное |
| **Cr** |  | Процентное содержание Cr | Вещественное |
| **Mn** |  | Процентное содержание Mn | Вещественное |
| **Ti** |  | Процентное содержание Ti | Вещественное |

# Исходные данные

1. Ежемесячные данные представлены в таблице MonthData.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Поле** | **Обозначение** | **Смысл** | **Тип** |
| LA |  | Идентификатор Литейного Агрегата | Длинное целое |
| T\_last |  | Время начала доступности агрегата в планируемом периоде | По маске |
| Product |  | Идентификатор Продукта, который обрабатывался на агрегате последним в конце прошлого периода планирования | По маске |
| T\_max |  | Время окончания периода планирования | Вещественное |
| TS\_s |  | Время старта *s*-того ремонта на агрегате | Вещественное |
| TF\_s |  | Время финиша *s*-того ремонта на агрегате | Вещественное |
| Prem\_A7 |  | Премия первички A7 | Вещественное |
| Cob |  | Объём сырца на заводе, на котором находится агрегат | Вещественное |
| Num\_KV |  | Доступное количество крытых вагонов для транспортировки с завода j | Целое |
| Num\_PV |  | Доступное количество полувагонов для транспортировки с завода j | Целое |
| Num\_Kon |  | Доступное количество контейнеров для транспортировки с завода j | Целое |
| Num\_SeaKon |  | Доступное количество морских контейнеров для транспортировки с завода j | Целое |

1. Пакет заказов

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Поле** | **Обозначение** | **Смысл** | **Тип** |
| **Order** |  | Идентификатор заказа | Длинное целое |
| **Vol** |  | Объём заказа | Вещественное |
| **Neg\_Tol** |  | Отрицательный допуск заказа | Вещественное |
| **Pos\_Tol** |  | Положительный допуск заказа | Вещественное |
| **Dest** |  | Пункт назначения заказа | По маске |
| **Prem** |  | Премия заказа | Вещественное |
| **Serie** |  | Идентификатор серии сплава | По маске |
| **Mark** |  | Идентификатор марки сплава | По маске |
| **Form** |  | Идентификатор формы заказа | По маске |
| **TS** |  | Идентификатор технической спецификации | По маске |
| **Diameter** | *Diameter* | Диаметр для цилиндрического слитка | Вещественное |
| **Width** | *Width* | Ширина для плоского слитка | Вещественное |
| **Height** | *Height* | Высота для плоского слитка | Вещественное |
| **Length** | *Length* | Длина слитка | Вещественное |
| **Weight** | *Weight* | Вес слитка | Вещественное |
| **SHIPPING\_TIME** |  | Время отгрузки продукции | Дата |

1. Таблица SGP\_T – остатки на складе готовой продукции

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Поле** | **Обозначение** | **Смысл** | **Тип** |
| Mark |  | Идентификатор марки сплава | По маске |
| Form |  | Идентификатор формы заказа | По маске |
| TS |  | Идентификатор технической спецификации | По маске |
| Diameter | - | Диаметр для цилиндрического слитка | Вещественное |
| Width | - | Ширина для плоского слитка | Вещественное |
| Height | - | Высота для плоского слитка | Вещественное |
| Length | - | Длина слитка | Вещественное |
| Weight | - | Вес слитка | Вещественное |
| V | *V* | Объём готового продукта на СГП | Вещественное |
| PLANT | *plant* | Идентификатор завода | По маске |

1. Таблица SGPREADY\_T – продукция, готовая к отправке.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Поле** | **Обозначение** | **Смысл** | **Тип** |
| ORDER | *i* | Идентификатор заказа | По маске |
| PART | *m* | Идентификатор части заказа | По маске |
| LA | *k* | Идентификатор литейного агрегата | По маске |
| V | *v* | Объём готовой продукции | Вещественное |

1. Таблица TRANSPORTCOST\_T – транспортные тарифы

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Поле** | **Обозначение** | **Смысл** | **Тип** |
| **Plant** |  | Идентификатор Завода | По маске |
| **Dest** |  | Идентификатор пункта назначения | По маске |
| **Type** |  | Тип вагона, в котором происходит транспортировка | По маске |
| **Cost** | *Cost* | Тариф на перевозку в полувагоне | Вещественное |

1. Таблица RESOURCE\_T ресурсов фильтров и оснастки.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Поле** | **Обозначение** | **Смысл** | **Тип** |
| **ID** |  | Идентификатор фильтра или оснастки | По маске |
| **Resource** |  | Начальный расход единицы оборудования | Целый |

# Приложение 1. Общее обозначение для всех данных НСИ

Таблица 1. Обозначение заводов.

|  |  |
| --- | --- |
| **Название** | **Обозначение** |
| Красноярский Алюминиевый завод | KRAZ |
| Саяногорский Алюминиевый завод | SAZ |
| Иркутский Алюминиевый завод | IRKAZ |
| Братский Алюминиевый завод | BRAZ |
| Новокузнецкий Алюминиевый завод | NKAZ |
| Хакасский Алюминиевый завод | KHAZ |

Таблица 2. Обозначение форм слитков.

|  |  |
| --- | --- |
| **Название** | **Обозначение** |
| Плоский слиток | SLABS |
| Цилиндрический слиток | BILLETS |
| Чушка мелкая | INGOTS |
| Т-образная чушка | T-BARS |
| Катанка | WIREROD |
| Негабаритные слитки | NON-STANDART SLABS |
| Рондель | BLANK (Rondel) |

Таблица 3.

# Приложение 2. математический аппарат

В таблице ниже приведены описание и структура переменных и функций, используемых в ограничениях и целевой функции.

| **№** | **Параметр** | **Источник** | **Смысл** | **Путь** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | НСИ | Выбор поля на агрегате | Выбор LA\_T-Vol\_min при LA\_T-LA=k |
|  |  | НСИ | Возвращает максимальный объём части заказа, исполняемой на данном агрегате *k* | Выбор LA\_T-Vol\_max при LA\_T-LA=k |
|  |  | Пакет заказов | Выбор поля (отрицательный допуск) для заказа | Выбор OrderList-Neg\_Tol при OrderList-Order=i |
|  |  | Пакет заказов | Выбор поля (положительный допуск) для заказа | Выбор OrderList-Pos\_Tol при OrderList-Order=i |
|  |  | Таблица переменных | Выбор номера заказа по соответствующему номеру в очереди на агрегате | - |
|  |  | Таблица переменных | Выбор номера части заказа по соответствующему номеру в очереди на агрегате | - |
|  |  | Пакет заказов, НСИ | Определение продукта по параметрам заказа | Выбор PRODUCT\_T-Product при  (PRODUCT\_T-Form=OrderList-Form and PRODUCT\_T-Serie=OrderList-Serie and PRODUCT\_T-Mark=OrderList-Mark and (PRODUCT\_T-Diameter=OrderList-Diameter or (PRODUCT\_T-Width=OrderList-Width and PRODUCT\_T-Height=OrderList-Height))) |
|  |  | Ежемесячный ввод | Время, когда на -том агрегате закончится обработка заказов из прошлого периода | Выбор MonthData-T\_last при MonthData\_LA=k |
|  |  | Ежемесячный ввод | Продукт, который остался на -том агрегате в прошлом периоде | Выбор MonthData-Product при MonthData\_LA=k |
|  |  | НСИ | Определение времени перехода с продукта на продукт на -том агрегате | Выбор ChTime-ChTime при (ChTime-Product1=prod1 and ChTime-Product2=prod2 and ChTime-LA=k) |
|  |  | НСИ | Определение производительности k-того агрегата для продукта | Выбор PRODUCTIVITY\_T-Productivity при (PRODUCTIVITY\_T-LA=k and PRODUCTIVITY\_T-Product=prod) |
|  |  | Ежемесячный ввод | Время окончания периода планирования для k-того агрегата | Выбор MonthData-T\_max при MonthData\_LA=k |
|  |  | Ежемесячный ввод | Периоды, в которых происходит ремонт агрегата . | Выбор MonthData-TS\_s и MonthData-TF\_s при MonthData\_LA=k |
|  |  | Пакет заказов | Премия сплава (из заказа ) | Выбор OrderList-Prem при OrderList-Order=i |
|  |  | НСИ | Себестоимость литейного передела минус стоимость высвобождаемого сырца продукта на k-том агрегате | Выбор COST\_T-Cost при (COST\_T-Product=prod and COST\_T-LA=k) |
|  |  | НСИ | Стоимость перехода k-того агрегата с продукта на продукт | Выбор CHCOST\_T-ChCost при (CHCOST\_T-LA=k and CHCOST\_T-Product1=prod1 and CHCOST\_T-Product2=prod2) |
|  |  | Ежемесячный ввод | Премия A7 на период планирования для k-того агрегата | Выбор MonthData-Prem\_A7 при MonthData-LA=k |
|  |  | НСИ | Расход фильтра при отливке продукта на k-том агрегате | Выбор FILTERCONS\_T-Filter\_Cons при (FILTERCONS\_T-Product=prod and FILTERCONS\_T-LA=k) |
|  |  | Обновляемая таблица | Остаток расхода фильтра | Выбор RESOURCE\_T – Resource при RESOURCE\_T-ID=filter |
|  |  | Обновляемая таблица | Остаток расхода оснастки | Выбор RESOURCE\_T – Resource при RESOURCE\_T-ID=attach |
|  |  | Пакет заказов | Марка сплава в -том заказе. | Выбор OrderList-Mark при OrderList-Order=i |
|  |  | НСИ | Время *pereosn*, необходимое для переоснастки литейного агрегата | Выбор LA\_T- Restringing при LA\_T-LA=k |
|  |  | НСИ | Последовательность допустимых переходов между марками , с которой происходит переход, и , на которую происходит переход | Выбор CHMARK\_T-ChMark при (CHMARK\_T-Mark1=mark1 and CHMARK\_T-Mark2=mark2) |
|  |  | НСИ | Высота слитка в продукте | Выбор PRODUCT\_T-Height при PRODUCT\_T-Product=prod |
|  |  | НСИ | Ширина слитка в продукте | Выбор PRODUCT\_T-Width при PRODUCT\_T-Product=prod |
|  |  | НСИ | Диаметр слитка в продукте | Выбор PRODUCT\_T-Diameter при PRODUCT\_T-Product=prod |
|  |  | Пакет заказов | Вес слитка для заказа i | Выбор OrderList-weight при OrderList-order=i |
|  |  | Пакет заказов | Длина слитка для заказа *i* | Выбор OrderList-I при OrderList-order=i |
|  |  | НСИ | Кол-во слитков в одной ходке по ширине , высоте , диаметру из продукта и длине для агрегата k | Выбор PRODUCTIVITY\_T-NumIngots при PRODUCTIVITY\_T-diameter=diameter and PRODUCTIVITY\_T-height=height and PRODUCTIVITY\_T-width=width and PRODUCTIVITY\_T-lengthMin<=length<= PRODUCTIVITY\_T-lengthMax and PRODUCTIVITY\_T-form=slab |
|  |  | НСИ | Время одной ходки агрегата k при производстве продукта prod | Выбор PRODUCTIVITY\_T-TravelTime при (PRODUCTIVITY\_T-LA=k and PRODUCTIVITY\_T-Product=prod) |
|  |  | - | Количество слитков в части m заказа i, производимых на агрегате. | - |
|  |  | - | Транспортные издержки по перевозке заказа i с завода j | - |
|  |  | НСИ | Минимальное содержание Fe{Si, Mg, P, Na, Zn, Ga, V, Cr, Mn, Ti} в продукте *i* | Выбор PRODUCT\_T-FeMin {SiMin, MgMin, PMin, NaMin, ZnMin, GaMin, VMin, CrMin, TiMin} при PRODUCT\_T-Product=prod |
|  |  | НСИ | Максимальное содержание Fe в продукте i | Выбор PRODUCT\_T-FeMax {SiMax, MgMax, PMax, NaMax, ZnMax, GaMax, VMax, CrMax, TiMax} при PRODUCT\_T-Product=prod |
|  |  | Ежемесячные данные | Содержание Fe{Si, Mg, P, Na, Zn, Ga, V, Cr, Mn, Ti} в электролизёре *el* в день T | Выбор CHEMISTRY\_T-Fe{Si, Mg, P, Na, Zn, Ga, V, Cr, Mn, Ti} при CHEMISTRY\_T-Day=T |
|  |  | Ежемесячные данные | Возможности литейного агрегата k по уменьшению примеси Fe{Si, Mg, P, Na, Zn, Ga, V, Cr, Mn, Ti} в сплаве | Выбор LA\_CHEM\_DECREASE-Fe{Si, Mg, P, Na, Zn, Ga, V, Cr, Ti} при LA\_CHEM\_DECREASE-LA=k |
|  |  | Ежемесячные данные | Тариф на перевозку в крытом вагоне для завода j в пункт назначения dest, указанный в заказе | Выбор TRANSPORTCOST\_T-Cost при TRANSPORTCO–ST\_T -dest=dest and TRANSPORTCO–ST\_T -plant=j and TRANSPORTCOST\_T-type=’KV’ |
|  |  | Ежемесячные данные | Тариф на перевозку в полувагоне | Выбор TRANSPORTCOST\_T-Cost при TRANSPORTCO–ST\_T -dest=dest and TRANSPORTCO–ST\_T -plant=j and TRANSPORTCOST\_T-type=’PV’ |
|  |  | Ежемесячные данные | Тариф на перевозку в контейнере | Выбор TRANSPORTCOST\_T-Cost при TRANSPORTCO–ST\_T -dest=dest and TRANSPORTCO–ST\_T -plant=j and TRANSPORTCOST\_T-type=’Kon’ |
|  |  | Ежемесячные данные | Тариф на перевозку в морском контейнере | Выбор TRANSPORTCOST\_T-Cost при TRANSPORTCO–ST\_T -dest=dest and TRANSPORTCO–ST\_T -plant=j and TRANSPORTCOST\_T-type=’SeaKon’ |
|  |  | НСИ | Грузоподъемность контейнера | Выбор TRAINNORM\_T-V при TRAINNORM\_T-Train=’Kon’ |
|  |  | НСИ | Грузоподъемность крытого вагона | Выбор TRAINNORM\_T-V при TRAINNORM\_T-Train=’KV’ |
|  |  | НСИ | Грузоподъемность полувагона | Выбор TRAINNORM\_T-V при TRAINNORM\_T-Train=’PV’ |
|  |  | НСИ | Грузоподъемность морского контейнера | Выбор TRAINNORM\_T-V при TRAINNORM\_T-Train=’SeaKon’ |
|  |  | Ежемесячные данные | Функция, определяющая объём запасов продукта по параметрам формы, марки, ширины, высоты, спецификации продукта заказа *i*, а также по ключевому размеру заказа на заводе, где находится агрегат *k* | Выбор SGP\_T-V при SGP\_T-Width=Width(i) and SGP\_T-Height=Height(i) and SGP\_T-Diameter=Diameter(i) and SGP\_T-Length=Length(i) and SGP\_T-PLANT=Plant(k) |
|  |  | НСИ | Определение завода по агрегату, который на нем находится | Выбор LA\_T-plant при LA\_T-LA=k |
|  |  | НСИ | Объём части m заказа *i*, выделенный на СГП, готовый к отгрузке | Выбор SGPREADY\_T-V при SGPREADY\_T-OIRDER=i and SGPREADY\_T-PART=m and SGPREADY\_T-LA=k |
|  |  | НСИ | Коэффициент расхода сырца на продукт *prod* | Выбор COB\_T-Cob при COB\_T-Product=prod |
|  |  | Пакет заказов | Время отгрузки продукции по заказу *i* | Выбор OrderList-ShippingTime при OrderList-order=i |
|  |  | НСИ | Функция возвращает значение коридора по химическому элементу . | Выбор  CHEM\_RANGE\_T-Range  при CHEM\_RANGE\_T-Element |
|  |  | НСИ | Округление переменной *arg* по верхней границе. | Выбор TRAINNORM\_T-V при TRAINNORM\_T-Train=’Kon’ |
|  |  | НСИ | Ф-ция возвращает номер спецификации определённого продукта *Prod* | Выбор Product\_T-Spec при Product\_T-product=prod |
|  |  | НСИ | Функция возвращает степень качества отливаемого сплава в зависимости от спецификации *Spec.* | Выбор SPEC\_T-Quality при SPEC\_T-Spec=Spec |
|  |  | НСИ | Функция показывает проводится ли гомогенизация текущего сплава по спецификации | Выбор SPEC\_T-Homogen при SPEC\_T-Spec=Spec |
|  |  | НСИЕжемесячные данные | Функция показывает проводится ли фильтрация сплава по спецификации | Выбор SPEC\_T-Filtration при SPEC\_T-Spec=Spec |
|  |  | НСИ | Возвращает *true* в случае, если фильтр *filter* доступен в диапазоне  . *False* если нет. | Для поиска используется таблица FILTER\_RES\_T. |
|  |  | НСИ | Возвращает идентификатор фильтра, смонтированный на агрегате . | Выбор FILTER\_T-Filter при FILTER\_T-LA= k |
|  |  | НСИ | Возвращает время подготовки фильтра к работе | Выбор FILTER\_T-PrepareTime при FILTER\_T-Filter=filter |
|  |  | НСИ | Возвращает ближайшее время старта недоступности фильтра *filter* к времени *startProd* | Выбор FILTER\_RES\_T-Start при FILTER\_RES\_T-Start<startProd и FILTER\_RES\_T-finish>startProd |
|  |  | НСИ | Возвращает ближайшее время окончания недоступности фильтра *filter* к времени *startProd* | Выбор FILTER\_RES\_T-Finish при FILTER\_RES\_T-Start<startProd и FILTER\_RES\_T-Finish>startProd- |
|  |  | НСИ | Возвращает количество возможных ходок на оснастке *attachm* | Выбор ATTACH\_T-Resource при ATTACH\_T-attachment=attachm |
|  |  | НСИ | Возвращает время промывки фильтра filter | Выбор CHFILTER\_T-ChTime при CHFILTER\_T-Filter= |
|  |  | НСИ | Возвращает длину обрези по спецификации *spec* | Выбор SPEC\_T-Clipping при SPEC\_T-Spec=spec |
|  |  | НСИ | Определяет количество одновременно-отливаемых заготовок в зависимости от длины *length и* параметров (сечение) заказа *i* | Выбор NUM\_INGOTS\_T-NumBlanks |
|  |  | НСИ | Возвращает максимальную длину заготовки, которую можно отлить на агрегате *k* в зависимости от сечения *width* и *height* для плоских слитков и *diameter* для цилиндров. | Выбор NUM\_INGOTS\_T-LengthMax |

# Приложение 4. Расчёт времени производства по схемам литейных агрегатов

Схема 1 и 2.



Схема 3. 1 миксер, 2 литейные машины



Схема 4. Один копильник, одна литейная машина



Схема 5 и 6. два миксера-копильника, одна литейная машина



Схема 10. 2 копильника, 1 раздатка, 2 литейных машины (количество 2 ЛА на АДВ)



Схема 9. 2 копильника, 3 литейных конвейера

Заказ льётся:

1. через 2-ой конвейер – линия Брошо. Работают два миксера. В этом случае схема расчета аналогична схеме 5 (и 6)
2. через 1-ый и 3-тий конвейеры. Льется с одного миксера. Схема расчета аналогична схеме 4.

# Приложение 5. Расчёт количества одновременно-отливаемых плоских и цилиндрических слитков на агрегате за одну ходку.

В данном приложении рассматривается расчет количества одновременно-отливаемых плоских и цилиндрических слитков товарной длины за одну ходку литейного агрегата. Также при этом расчете определяются следующие параметры:

1. Длина отливаемой заготовки
2. Объем одной ходки части заказа
   1. – для плоских слитков
   2. – для цилиндрических слитков

Количество одновременно-отливаемых слитков на агрегате за одну ходку определяется формулой , где

– количество слитков в одной заготовке,

– количество занятых кристаллизаторов на литейной машине.

Необходимо найти

удовлетворяющих следующим ограничениям: